

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 770 771 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
02.05.1997 Patentblatt 1997/18

(51) Int Cl.<sup>6</sup>: **F02C 7/143, F04D 29/58**(21) Anmeldenummer: **96810685.6**(22) Anmeldetag: **11.10.1996**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB IT NL**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**LT LV**

(30) Priorität: **26.10.1995 DE 19539774**

(71) Anmelder: **ASEA BROWN BOVERI AG**  
**5401 Baden (CH)**

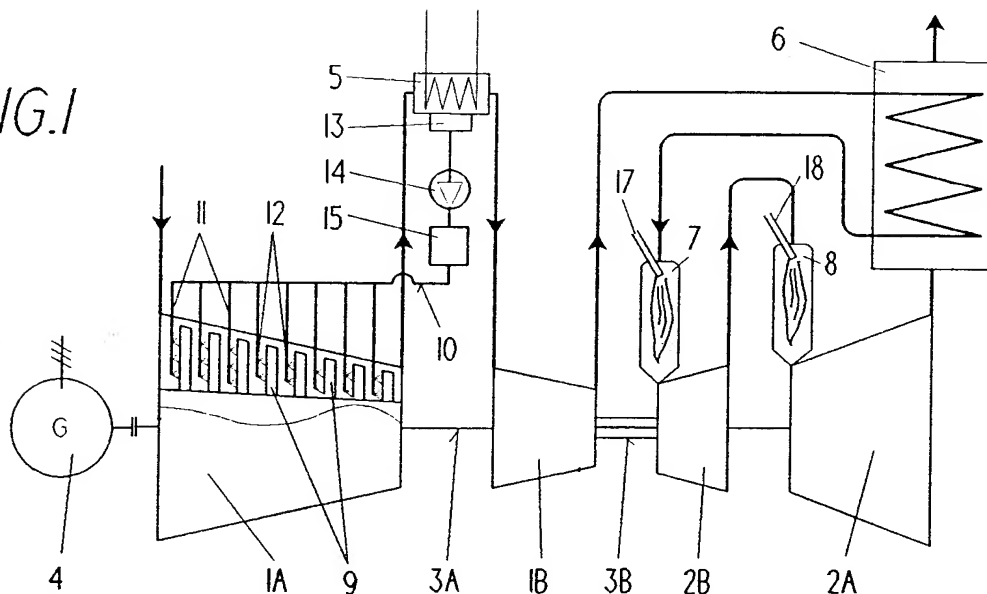
(72) Erfinder: **Nielsen, Henrik**  
**5430 Wettingen (CH)**

(74) Vertreter: **Klein, Ernest et al**  
**Asea Brown Boveri AG**  
**Immaterialgüterrecht(TEI)**  
**Haselstrasse 16/699 I**  
**5401 Baden (CH)**

(54) **Zwischengekühlter Verdichter**

(57) Eine offene Gasturbine mit Abwärmerückgewinn sowie Zwischenkühlung während der Verdichtung besteht im wesentlichen aus einem axialdurchströmten, zweiteiligen Verdichter (1A, 1B) mit dazwischengeschalteten Kühler (5), einer Brennkammer (7, 8), einer

Turbine (2A, 2B) und einem Rekuperator (6). Der erste Verdichterteil (1A) ist mit einer Mehrzahl von Wassereinspritzungen (12) versehen ist. Der Kühler (5) weist Mittel (13) zur Wasserrekuperation auf, welche über eine Förderpumpe (14) mit den Wassereinspritzungen (12) verbunden sind.

*FIG.1*

EP 0 770 771 A1

## Beschreibung

### Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine offene Gasturbine mit Abwärmerückgewinn sowie Zwischenkühlung während der Verdichtung, wobei die Gasturbine im wesentlichen einen axialdurchströmten, zweiteiligen Verdichter mit dazwischengeschalteten Kühler, mindestens eine Brennkammer, mindestens eine Turbine und einen Rekuperator aufweist, in welchem die Verdichterluft auf die Einlasstemperatur in die Brennkammer erhitzt wird. Die Erfindung betrifft auch ein Betriebsverfahren für eine solche Gasturbine.

### Stand der Technik

Derartige Gasturbinen sind hinlänglich bekannt. Die Abwärmerückgewinnung und die Zwischenkühlung während der Verdichtung gelten dabei als Prozessverbesserungen, die zum Zwecke einer Wirkungsgradsteigerung und/oder zur Leistungserhöhung eingesetzt werden. Die Zwischenkühlung hat eine Verflachung der Wirkungsgradkurven zur Folge und ist insbesondere interessant bei Anlagen mit hohen Druckverhältnissen. Axialdurchströmte Verdichter für hohe Druckverhältnisse werden zur Zwischenkühlung des Arbeitsmittels deshalb in der Regel mehrgewüßig ausgeführt. Das Arbeitsmittel - hier atmosphärisch angesaugte Verbrennungsluft - wird nach einer Niederdruckverdichtung in einem ausserhalb der Verdichtergehäuse angeordneten Zwischenkühler heruntergekühlt, bevor sie in einem weiteren Verdichterteil auf den Enddruck verdichtet wird. Selbstverständlich ist auch mehrfache Zwischenkühlung möglich.

Bei radialdurchströmten mehrstufigen Verdichtern ist es ferner bekannt, zur Zwischenkühlung eine verdampfende Flüssigkeit in den Gasstrom einzuspritzen. Die US-A-2,786,626 zeigt beispielsweise einen solchen Zentrifugalverdichter, bei dem eine verdampfbare Flüssigkeit sowohl in den Verdichtereinlass als auch in den Querkanal zwischen den Lauf- und Leiträdern der einzelnen Stufen eingedüst wird. Da die Einspritzung jedoch in einem Gebiet mit niedriger Strömungsgeschwindigkeit erfolgt, ist es fraglich, ob mehr als eine begrenzte Verdampfung der Flüssigkeit und damit Kühlung des geförderten Arbeitsmittels mit dieser Methode zu erzielen ist. Aus diesem Grund sind auch zwischen den Stufen jeweils Entwässerungen vorgesehen. Darüberhinaus ist sogar die Möglichkeit angegeben, mehr Flüssigkeit einzuspritzen, als überhaupt verdampft werden kann. Diese unverdampfte Flüssigkeit soll am Verdichteraustritt den komprimierten Gasen beigemischt werden.

### Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einer

Gasturbine der eingangs genannten Art durch weitere Zwischenkühlung die Verdichtungsendtemperatur resp. die Verdichtungsarbeit zu erniedrigen.

Erfindungsgemäss wird dies dadurch erreicht,

- 5 - dass zumindest der erste Verdichterteil mit einer Mehrzahl von Wassereinspritzungen versehen ist,
- dass der Kühler Mittel zur Wasser-Rekuperation aufweist,
- 10 - und dass die Mittel zur Wasser-Rekuperation über eine Förderpumpe mit den Wassereinspritzungen verbunden sind.

Die Vorteile der Erfindung sind unter anderem in einer beträchtlichen Wirkungsgradsteigerung der Anlage zu sehen. Denn neben der Reduzierung der Verdichtungsarbeit hat die niedrige Verdichtungsendtemperatur zur Folge, dass die Turbineneintrittstemperatur gesteigert werden kann. Dies, weil mit der "kalten" verdichteten Verbrennungsluft ein hervorragendes Kühlmittel für die heissen Turbinenteile zur Verfügung steht. Darüberhinaus müssen keine hochwertigen Werkstoffe für den Rotor und die Beschaukelung eingesetzt werden.

Es ist besonders zweckmässig, wenn die Wassereinspritzungen im Verdichter jeweils in der Ebene der Leitbeschaukelung angeordnet sind und wenn sie sich über der ganzen Höhe des durchströmten Verdichterkannals erstrecken. Eine günstige Einspritzung in den durchströmten Verdichterkanal kann durch hohle Leitbeschaukeln oder über gitterförmig angeordnete Einspritzdüsen erfolgen. Mit dieser Massnahme kann auf zusätzliche, Druckverluste aufweisende Komponenten verzichtet werden und es bietet sich eine strömungsge-  
rechte Einspritzmöglichkeit an.

Ein Verfahren zum Betreiben der Anlage zeichnet sich dadurch aus, dass über die Mehrzahl von Wassereinspritzungen jeweils soviel Wasser zugegeben wird, dass das entstehende Dampf-Luftgemisch während der Verdichtung die Wasser-Sättigungslinie nicht unterschreitet, und dass im Endkühler die zwischenverdichtete Luft soweit hinuntergekühlt wird, dass zumindest annähernd alles eingespritzte Wasser auskondensiert und nach dessen Reinigung wiederum den Wassereinspritzungen zugeführt wird.

Mit diesem Verfahren wird nahezu kein Wasser verbraucht. Ausserdem bietet sich die Möglichkeit an, dem einzuspritzenden Wasser ein Verdichterreinigungsmittel zuzugeben, um den Verdichter während des Betriebes kontinuierlich reinigen zu können.

### Kurze Beschreibung der Zeichnung

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer zweiwelligen axialdurchströmten Gasturbine dargestellt.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Schalt-schema einer Gasturbine mit Zwi-

schenkühlung, Zwischenerhitzung und Wärmererekuporation;

Fig. 2 ein Temperatur-Entropiediagramm des in Fig. 1 gezeigten Prozesses.

Es sind nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente gezeigt. Die Strömungsrichtung der Arbeitsmittel ist mit Pfeilen bezeichnet.

### Weg zur Ausföhrung der Erfindung

Bei der gezeigten Anlage handelt es sich um eine Verbundschaltung, bei welcher ein Niederdruckverdichter 1A und ein Hochdruckverdichter 1B sowie eine Verdichterturbine 2B und eine Nutzleistungsturbine 2A zwar in Serie geschaltet, jedoch auf getrennten Wellen 3A, 3B angeordnet sind. Die Kraftabnahme erfolgt verdichterseitig an der Niederdruckwelle 3A, wo ein Generator 4 angeordnet ist. Die Hochdruckwelle 3B ist im Beispielsfall als Hohlwelle konzipiert.

Die zwei axialdurchströmten Verdichter in Serie sind mit einer ersten Zwischenkühlung versehen. Hierzu ist ein in der Regel wassergekühlter K6hler 5 ausserhalb und zwischen den beiden Verdichtergeh6usen angeordnet.

Vom Austritt des Hochdruckverdichters 1B durchstr6mt die endverdichtete Luft im Gegenstrom einen Rekuperator 6, welcher von den Rauchgasen der Nutzleistungsturbine 2A beaufschlagt ist. In diesem Apparat wird die Verbrennungsluft auf die am Eingang der Hochdruckbrennkammer 7 vorgesehene Temperatur aufw6rmt. In dieser Brennkammer erfolgt durch Zugabe eines Brennstoffs 17 eine Erhitzung des Arbeitsmittels auf die vorgesehene Turbinen-Eintrittstemperatur.

Die beiden Turbinen in Serie sind mit einer Zwischenerhitzung versehen. Hierzu ist zwischen Austritt der Verdichterturbine 2B und Eintritt der Nutzleistungsturbine 2A eine Niederdruckbrennkammer 8 mit einer weiteren Brennstoffzufuhr 18 vorgesehen. Es versteht sich, dass es sich bei den schematisch dargestellten Einzelbrennkammern 7, 8 auch um Ringbrennkammern handeln kann.

Soweit sind offene Gasturbinen mit Prozessverbesserungen bekannt. Gem6ss der Erfindung ist nunmehr eine weitere Zwischenk6hlung des Arbeitsmittels im ersten Verdichterteil, d.h. im Niederdruckverdichter 1A vorgesehen.

Bei dieser weiteren Zwischenk6hlung handelt es sich um eine innere Zwischenk6hlung, die durch Einspritzung von zu verdampfendem Wasser in den durchstr6mten Verdichterkanal realisiert wird.

Hierzu verl6uft l6ngs des Niederdruckverdichters, von dessen Beschaufelung nur die Lauschaufeln 9 dargestellt sind, eine Wasserleitung 10, von der zu jeder Verdichterstufe eine Zustr6mleitung 11 abzweigt. Die eigentliche Wassereinspritzung erfolgt im Kanalinnern 6ber Einspritzd6sen 12, welche gitterf6rmig im Kanal auf geeignete Weise angeordnet sind. Diese Gitter be-

finden sich jeweils in der Ebene der nicht dargestellten Leitschaufeln. Die Einspritzd6sen sind 6ber der Kanalh6he gleichm6ssig verteilt. Die einged6ste Menge ist so bemessen, dass alles zerst6ubte Wasser unmittelbar verdampft. Im Verlauf der Verdichtung soll die Einspritzung so dosiert sein, dass in keinem Fall die S6ttigungslinie von Wasserdampf unterschritten wird.

Statt eines separaten Gitters k6nnen sich die Einspritzd6sen auch an oder in den Leitschaufeln selbst befinden und beispielsweise 6ber Hohlr6ume in den Leitschaufeln angespeist werden, wobei diese Hohlr6ume mit der zugeh6rigen Zustr6mleitung 11 verbunden sind.

Das Gemisch aus teilverdichteter Verbrennungsluft und Wasserdampf wird vom Austritt des Niederdruckverdichters in den K6hler 5 gef6rdert. Darin wird es so weit hinuntergek6hlt, dass der Wasserdampf vollst6ndig auskondensiert. In den Hochdruckverdichter gelangt somit Luft, die grunds6tzlich trockener sein kann als die atmosph6risch am Eintritt des Niederdruckverdichters angesaugte Frischluft.

Das im K6hler 5 anfallende Kondensat wird in einem Sammelgef6ss 13 aufgefangen. Daraus wird es mittels einer F6rderpumpe 14 6ber eine Aufbereitungsanlage 15, in der das Wasser insbesondere gereinigt wird, wiederum in die Wasserleitung 10 und zu den Einspritzd6sen gepumpt.

Das folgende Zahlenbeispiel soll ein Mass f6r den zu erzielenden W6rmer6ckgewinn angeben. Zugrundegelegt sei ein Verdichter mit einem Enddruck von 30 bar und einer angesaugten Frischluftmenge von 370 Kg/sec. Der vielstufige Niederdruckverdichter komprimiert die Luft auf 15 bar. Er ist in mehreren Stufen mit einer Wassereinspritzung ausger6stet. Mit einer gesamten Einspritzmenge von 28 Kg/sec, welche auf die mehreren Stufen entsprechend aufgeteilt ist, wird eine Austrittstemperatur aus dem Niederdruckverdichter von lediglich ca. 150°C erreicht. Im Zwischenk6hler 5 wird das Gemisch auf ca. 50°C heruntergek6hlt, auf eine Temperatur demnach, die beim vorherrschenden Druck zur vollst6ndigen Kondensation des eingespritzten Wasserdampfes f6hrt. Die Endverdichtung im Hochdruckverdichter 1B erh6ht die Temperatur der Verbrennungsluft an dessen Austritt auf ca. 120°C. Legt man dar6berhinaus eine hochbelastete Turbine mit den heutigen Eintrittstemperaturen zugrunde, so weisen die Turbinenabgase beim Eintritt in den Rekuperator 6 eine Temperatur von ca. 600°C auf. Diese heissen Abgase tauschen ihre W6rme bis zur Rekuperator-Austrittstemperatur von 160°C hinunter auf die eingangsseitig nur 120°C aufweisende Verbrennungsluft.

Im selbsterkl6renden Temperatur (Ordinate) - Entropie (Abzisse) - Diagramm der Fig. 2 ist der soeben geschilderte Prozess erkennbar. Er wird nachstehend nur kurz erl6utert:

Die bei 15°C angesaugte Frischluft wird von A-B im Niederdruckverdichter infolge der inneren Stufenk6hlung s6gezahnf6rmig komprimiert. Von B-C erfolgt die Zwischenk6hlung mit Wasserrekuporation. Von C-D

wird im Hochdruckverdichter auf Enddruck komprimiert. Von D-E wird die Verbrennungsluft mittels Rekuperation aufgeheizt. Von E-F erfolgt die Wärmezufuhr über die Hochdruckverbrennung. Von F-G wird in der Verdichterturbine entspannt. Das Druckniveau in G ist dabei so gewählt, dass im Fall einer Zweiwellenanlage der Hochdruckverdichter und die Verdichterturbine im Gleichgewicht sind. Von G-H erfolgt in der Niederdruckbrennkammer die Zwischenerhitzung. Von H-I werden die Rauchgase unter Leistungsabgabe an den Generator in der Nutzturbine entspannt. Von I-J erfolgt im Rekuperator die Wärmeabgabe an die Verbrennungsluft. Von J-K wird die Restwärme der Abgase an die Atmosphäre abgegeben.

Ersichtlich ist, dass bei der stufenweisen Zwischenkühlung anlässlich der Niederdruckverdichtung die Sättigungslinie 20 nicht unterschritten wird.

Es ist demnach erkennbar, dass mit der neuen Massnahme ein Anlagen-Wirkungsgrad erzielt werden kann, wie er sonst nur mit einer ungleich aufwendigeren Kombianlage zu erreichen ist.

Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die gezeigte und beschriebene Anlage beschränkt. In Abweichung zur dargestellten Zweiwellenanlage könnte es sich genau so gut um eine einwellige Anlage handeln. In diesem Fall hätte man noch mehr Freiheiten bezüglich der Unterteilung der Verdichtereinheit in gekühlten und ungekühlten Teil. Grundsätzlich könnte sogar ganz auf den zweiten Verdichterteil verzichtet werden. Bei einer derartigen direkten Hintereinanderschaltung von entwässertem Kühler und Rekuperator könnte bei gasgefeuerten Anlagen der Energieinhalt der Abgase im Rekuperator maximal ausgenutzt werden und damit auf einen weiteren "bottoming cycle" zur Brennstoffausnutzung verzichtet werden. Auch bei der Wassereinspritzung sind Varianten vorstellbar, bei welchen das Wasser durch einen hohlen Rotor geleitet wird und über radiale Bohrungen fliehkraftbedingt in den durchströmten Verdichterkanal gelangt.

#### Bezugszeichenliste

- 1A Niederdruckverdichter
- 1B Hochdruckverdichter
- 2A Nutzleistungsturbine
- 2B Verdichterturbine
- 3A Niederdruckwelle
- 3B Hochdruckwelle
- 4 Generator
- 5 Zwischenkühler
- 6 Rekuperator
- 7 Hochdruckbrennkammer
- 8 Niederdruckbrennkammer
- 9 Laufschaufel von 1A
- 10 Wasserleitung
- 11 Zufuhrleitung
- 12 Wassereinspritzung, Einspritzdüse
- 13 Sammelgefäß

- 14 Förderpumpe
- 15 Aufbereitungsanlage
- 17 Brennstoff
- 18 Brennstoff
- 5 20 Sättigungslinie

#### Patentansprüche

- 10 1. Offene Gasturbine mit Abwärmerückgewinn sowie Zwischenkühlung während der Verdichtung, wobei die Gasturbine im wesentlichen einen axialdurchströmten, zweiteiligen Verdichter (1A, 1B) mit dazwischengeschalteten Kühler (5), mindestens eine Brennkammer (7, 8), mindestens eine Turbine (2A, 2B) und einen Rekuperator (6) aufweist, in welchem die Verdichterluft auf die Einlasstemperatur in die Brennkammer (7) erhitzt wird, dadurch gekennzeichnet,
  - dass zumindest der erste Verdichterteil (1A) mit einer Mehrzahl von Wassereinspritzungen (12) versehen ist,
  - dass der Kühler (5) Mittel zur Wasser-Rekuperation (13) aufweist,
  - und dass die Mittel zur Wasser-Rekuperation über eine Förderpumpe (14) mit den Wassereinspritzungen (12) verbunden sind.
- 30 2. Gasturbine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Wassereinspritzungen (12) im Verdichter jeweils in der Ebene der Leitbeschaufelung angeordnet sind.
- 35 3. Gasturbine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Wassereinspritzungen (12) über der ganzen Höhe des durchströmten Verdichterkanals angeordnet sind.
- 40 4. Gasturbine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Wassereinspritzung (12) in den durchströmten Verdichterkanal durch hohle Leit-schaufeln erfolgt.
- 45 5. Gasturbine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Wassereinspritzung in den durchströmten Verdichterkanal über gitterförmig angeordnete Einspritzdüsen erfolgt.
- 50 6. Verfahren zum Betreiben der Gasturbine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass über die Mehrzahl von Wassereinspritzungen (12) jeweils soviel Wasser zugegeben wird, dass das entstehende Dampf-Luftgemisch während der Verdichtung die Wasser-Sättigungslinie nicht unterschreitet, und dass im Kühler (5) die zwischenverdichtete Luft soweit hinuntergekühlt wird, dass zumindest annähernd alles eingespritzte Wasser auskonden-
- 55

siert und nach dessen Reinigung wiederum den Wassereinspritzungen zugeführt wird.

5

10

15

20

25

30

35

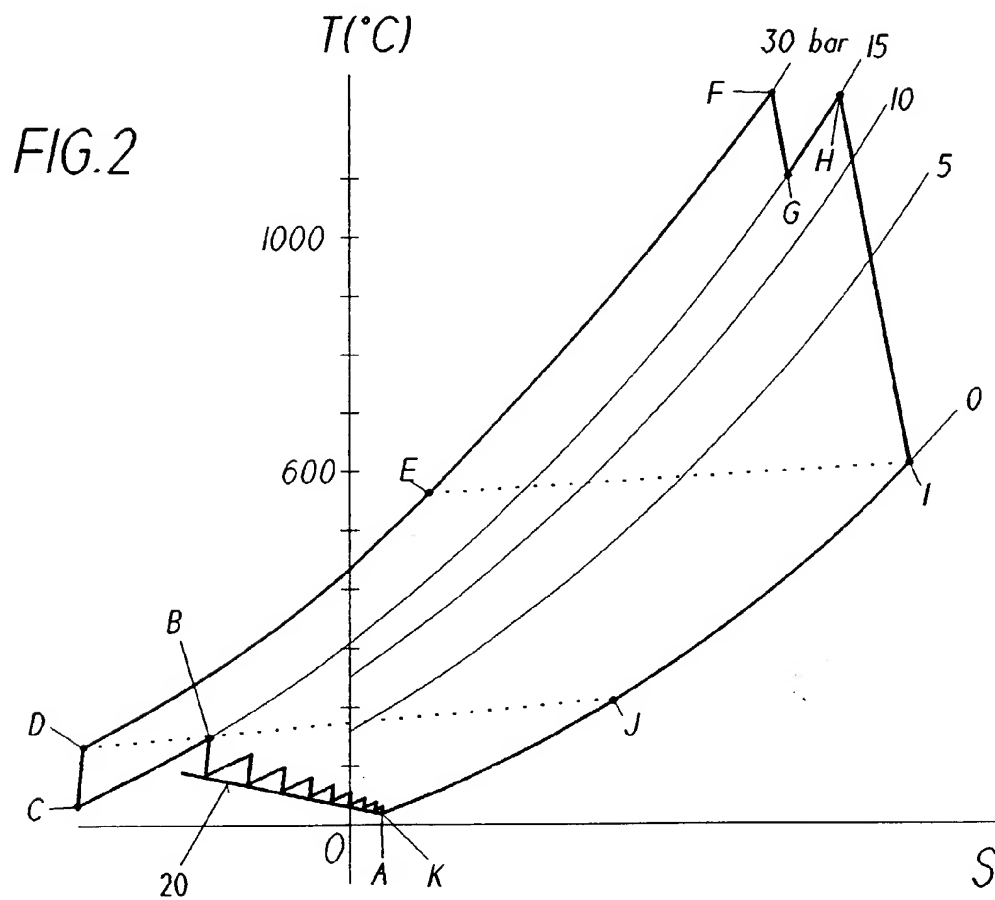
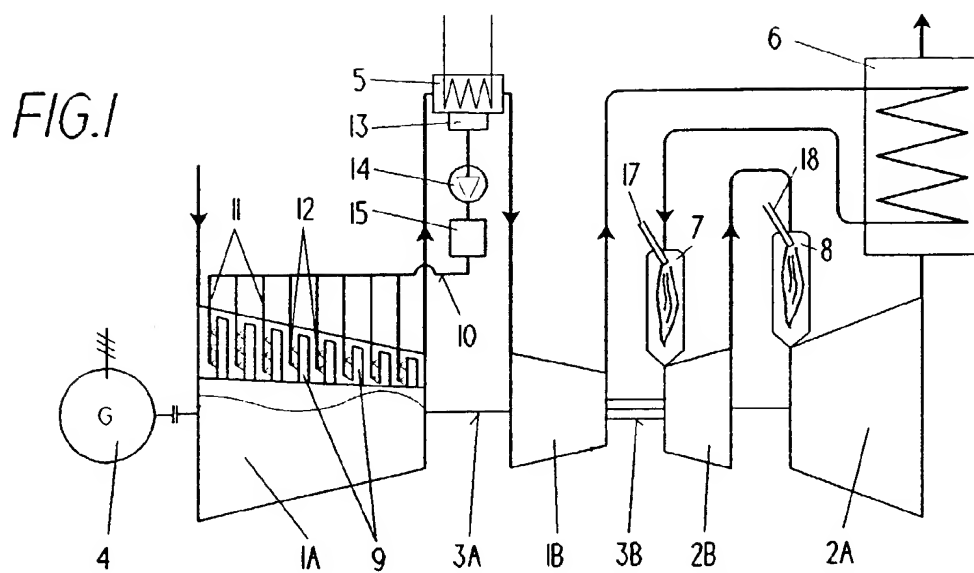
40

45

50

55

5





Europäisches  
Patentamt

## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 96 81 0685

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	EP 0 444 913 A (TURBINE DEVELOPMENTS AKTIENGES) 4.September 1991 * das ganze Dokument *	1,6	F02C7/143 F04D29/58
Y	EP 0 524 435 A (UNION CARBIDE IND GASES TECH) 27.Januar 1993 * Spalte 2, Zeile 27 - Spalte 3, Zeile 18; Ansprüche 1-3; Abbildung 1 *	1,6	
Y	US 2 407 165 A (KREITNER) 3.September 1946 * das ganze Dokument *	1,6	
A	DE 29 25 091 A (MUCIC VINKO DIPL ING) 8.Januar 1981 * das ganze Dokument *	1-6	
A	US 5 331 806 A (WARKENTIN DANIEL A) 26.Juli 1994 * Spalte 3, Zeile 63 - Spalte 5, Zeile 1; Abbildungen 2,6,7 *	1-6	
A	US 5 408 835 A (ANDERSON J HILBERT) 25.April 1995		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
A	DE 44 07 829 A (ABB PATENT GMBH) 14.September 1995		F02C F04D
A	EP 0 076 529 A (BBC BROWN BOVERI & CIE) 13.April 1983		
A	WO 91 15667 A (ELIN ENERGIEVERSORGUNG) 17.Oktober 1991		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 5.Februar 1997	Prüfer Iverus, D
<b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b> X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 150 (01.82) (P4C03)